



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
20.06.2018 Bulletin 2018/25

(51) Int Cl.:
H01L 31/05^(2014.01) H01L 31/0465^(2014.01)

(21) Numéro de dépôt: **17207694.5**

(22) Date de dépôt: **15.12.2017**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA ME
Etats de validation désignés:
MA MD TN

(72) Inventeurs:
• **BERTRAND, Mélanie**
44120 VERTOU (FR)
• **ALLAIS, François**
44115 BASSE GOULAIN (FR)
• **MWAURA, Jeremiah K.**
ANDOVER, MA 01810 (US)

(30) Priorité: **16.12.2016 FR 1662616**

(74) Mandataire: **Lavoix**
2, place d'Estienne d'Orves
75441 Paris Cedex 09 (FR)

(71) Demandeur: **Armor**
44100 Nantes (FR)

(54) **PROCÉDÉ DE FABRICATION D'UN MODULE PHOTOVOLTAÏQUE ET MODULE PHOTOVOLTAÏQUE AINSI OBTENU**

(57) La présente invention concerne un procédé de fabrication d'un module photovoltaïque (10), comprenant les étapes suivantes : formation, sur un matériau électriquement conducteur, d'un sillon (20A) définissant une première (18A) et une deuxième (18B) électrodes inférieures; puis formation sur chaque électrode inférieure d'un empilement (34) comprenant au moins une électrode supérieure (36) et une couche (38) photo-active intermédiaire, pour former respectivement une première (16A) et une deuxième (16B) cellules photovoltaïques ;

puis formation d'une connexion électrique (17A) entre lesdites cellules (16A, 16B).

Avant les empilements sont formées une première bande isolante (22A) dans le sillon (20A) ; et une deuxième bande isolante (24B) sur la deuxième électrode inférieure, délimitant une zone inactive (28B) sur ladite deuxième électrode. L'empilement (34) ensuite formé sur la deuxième cellule est disposé en dehors de ladite zone inactive.

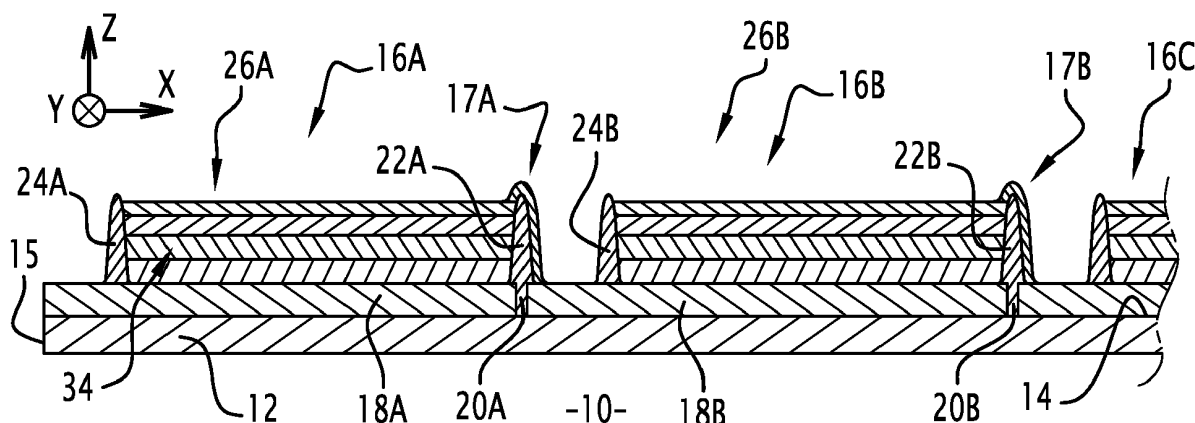


FIG.1

Description

[0001] La présente invention concerne un procédé de fabrication d'un module photovoltaïque, du type comprenant au moins deux cellules photovoltaïques connectées électriquement, le procédé comprenant les étapes suivantes : fourniture d'un substrat électriquement isolant recouvert d'une couche d'un premier matériau électriquement conducteur ; puis formation, sur ladite couche, d'au moins un sillon définissant une première et une deuxième électrodes inférieures, électriquement isolées l'une de l'autre par ledit sillon ; puis formation, sur chacune desdites électrodes inférieures, d'un empilement comprenant au moins : une électrode supérieure formée d'une couche d'un deuxième matériau électriquement conducteur ; et une couche d'un matériau photo-actif disposée entre les électrodes inférieure et supérieure, chacune des première et deuxième électrodes inférieures formant respectivement une première et une deuxième cellules photovoltaïques avec l'empilement correspondant ; puis formation d'une connexion électrique entre l'électrode supérieure de la première cellule photovoltaïque et la deuxième électrode inférieure.

[0002] Un module photovoltaïque est un composant électronique qui, exposé à la lumière, produit de l'électricité. Un tel module photovoltaïque comprend typiquement plusieurs cellules photovoltaïques connectées électriquement. Chaque cellule comporte au moins un matériau photo-actif, c'est-à-dire apte à produire de l'électricité à partir de la lumière. Un tel matériau est par exemple un semi-conducteur organique.

[0003] Un module photovoltaïque du type précité est décrit dans le document US7932124. Chaque cellule d'un tel module photovoltaïque est formée d'un empilement de bandes, comportant une couche photo-active entre deux électrodes, ledit empilement de bandes étant disposé sur un support.

[0004] Un tel empilement, dit zone active, est séparé des zones actives voisines par une zone dite inactive. Ladite zone inactive permet d'isoler électriquement les électrodes inférieures de deux cellules voisines tout en reliant l'électrode supérieure de chaque cellule à l'électrode inférieure d'une cellule voisine. Un module photovoltaïque est obtenu par la formation de plusieurs cellules ainsi connectées en série.

[0005] Généralement, dans les méthodes de production à grande échelle, les couches des empilements sont réalisées par voie humide, c'est-à-dire par dépôt d'une formulation liquide suivie d'un passage à l'état solide.

[0006] La performance du module photovoltaïque passe notamment par la réalisation de zones inactives les plus étroites possibles, pour maximiser la taille des zones actives. Cependant, les propriétés rhéologiques et de mouillabilité des formulations, ainsi que les propriétés physiques des supports, imposent des largeurs minimales pour les zones inactives. En particulier, les dépôts par voie humide induisent des effets de bords sur les bandes.

[0007] Les couches de l'empilement formant chaque cellule dans le document US7932124 sont notamment réalisées avec des largeurs décroissantes, de sorte à ménager un décalage latéral en marches d'escalier. Un tel procédé de réalisation complexifie sa mise en oeuvre par des méthodes de production à grande échelle et contribue à diminuer la taille des zones actives.

[0008] La présente invention a pour but de proposer un procédé de fabrication d'un module photovoltaïque permettant notamment de minimiser la taille des zones inactives et de maximiser celle des zones actives.

[0009] A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de fabrication du type précité, comprenant les étapes suivantes, entre l'étape de formation du sillon et celle de l'empilement : formation d'une première bande électriquement isolante dans le sillon et par-dessus ledit sillon, ladite bande formant un relief par rapport aux première et deuxième électrodes inférieures ; et formation d'une deuxième bande électriquement isolante sur la deuxième électrode inférieure, lesdites première et deuxième bandes électriquement isolantes étant sensiblement parallèles et délimitant une zone inactive sur ladite deuxième électrode inférieure. De plus, l'empilement formé sur la deuxième cellule photovoltaïque est disposé en dehors de la zone inactive.

[0010] Suivant d'autres aspects avantageux de l'invention, le procédé comporte l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :

- une largeur de la zone inactive est comprise entre 0,1 mm et 2 mm ;
- le procédé comprend en outre, entre l'étape de formation du sillon et celle de l'empilement, l'étape suivante : formation d'une troisième bande électriquement isolante sur la première électrode inférieure, les première et troisième bandes électriquement isolantes étant sensiblement parallèles, l'empilement formé ensuite sur la première électrode inférieure étant disposé entre lesdites première et troisième bandes électriquement isolantes.
- au moins la première bande électriquement isolante est formée par dépôt, sur le sillon et sur le premier matériau électriquement conducteur, d'une première formulation liquide de matériau isolant, suivi d'un passage à l'état solide de ladite première formulation ;
- la couche du premier matériau électriquement conducteur recouvrant le substrat présente une première énergie de surface ; et le dépôt de la première formulation liquide crée une première interface avec ledit premier matériau électriquement conducteur, la première tension de surface de ladite première interface étant inférieure à ladite première énergie de surface ; une différence entre ladite première énergie de surface et ladite première tension de surface étant préférentiellement comprise entre 0,015 N.m⁻¹ et 0,025 N.m⁻¹ ;

- l'étape de formation d'une connexion électrique comprend le dépôt d'une couche d'un troisième matériau électriquement conducteur entre l'électrode supérieure de la première cellule photovoltaïque et la deuxième électrode inférieure de la deuxième cellule photovoltaïque, par-dessus la première bande électriquement isolante ;
- la première bande électriquement isolante présente une deuxième énergie de surface ; et la couche de troisième matériau électriquement conducteur est formée par dépôt d'une deuxième formulation liquide, créant une deuxième interface avec ladite première bande électriquement isolante, une deuxième tension de surface de ladite deuxième interface étant inférieure à ladite deuxième énergie de surface ; une différence entre ladite deuxième énergie de surface et ladite deuxième tension de surface étant préférentiellement supérieure à $0,015 \text{ N.m}^{-1}$;
- la première formulation liquide de matériau isolant comprend au moins un polymère et au moins un tensio-actif, l'au moins un polymère étant préférentiellement préparé à base de composés choisis parmi les amines, les acrylates, les époxydes, les uréthanes et leurs mélanges, et l'au moins un tensio-actif étant préférentiellement un composé fluoré ;
- au moins l'une des couches de deuxième matériau électriquement conducteur et de matériau photo-actif est formée par une technique d'enduction ou d'impression au déroulé par voie humide, préférentiellement choisie parmi le slot-die, l'héliogravure, la flexographie et la sérigraphie rotative ;
- l'étape de formation d'une connexion électrique est réalisée simultanément au dépôt de la couche du deuxième matériau électriquement conducteur, le troisième matériau électriquement conducteur étant identique audit deuxième matériau électriquement conducteur.
- l'électrode supérieure et la connexion électrique sont formées d'un matériau électriquement conducteur transparent à la lumière visible ;
- une épaisseur de la couche de troisième matériau électriquement conducteur est inférieure à $1 \mu\text{m}$ et préférentiellement inférieure à 600 nm .

[0011] L'invention se rapporte en outre à un module photovoltaïque issu ou susceptible d'être issu d'un procédé tel que décrit ci-dessus.

[0012] Suivant un aspect avantageux de l'invention, ledit module est tel qu'un ratio entre la somme d'aires des empilements comprenant une couche de matériau photo-actif et une aire totale du substrat est supérieur à 80% et préférentiellement supérieur à 85%.

[0013] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif et faite en se référant aux dessins sur lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique, en coupe, d'un module photovoltaïque selon un mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 2 est une vue de détail du module photovoltaïque de la figure 1 ; et
- les figures 3 à 6 représentent schématiquement des étapes de fabrication du module photovoltaïque de la figure 1, par un procédé selon un mode de réalisation de l'invention.

[0014] La figure 1 représente une vue en coupe d'un module photovoltaïque 10 selon un mode de réalisation de l'invention.

[0015] Le module photovoltaïque 10 comporte notamment un substrat 12, formé d'un film de matériau électriquement isolant et transparent à la lumière visible, notamment de type polymère. Le substrat 12 comporte notamment une surface 14 sensiblement plane, délimitée par au moins un bord 15.

[0016] On considère une base orthonormée (X, Y, Z), la surface 14 formant un plan (X, Y).

[0017] Le module photovoltaïque 10 comporte au moins deux cellules photovoltaïques 16A, 16B, 16C, disposées sur le substrat 12. Le module photovoltaïque 10 comporte en outre au moins une connexion électrique 17A, 17B entre deux cellules photovoltaïques.

[0018] Chacune des cellules photovoltaïques 16A, 16B, 16C est formée par l'empilement de bandes enduites longitudinalement selon la direction Y. Une longueur des bandes selon Y peut aller jusqu'à plusieurs centaines de mètres.

[0019] De préférence, le module photovoltaïque 10 comporte une pluralité de cellules photovoltaïques 16A, 16B, 16C, par exemple un nombre de cellules photovoltaïques supérieur à trois. Le module photovoltaïque 10 comporte préférentiellement quatre, neuf ou vingt cellules photovoltaïques en forme de bandes, le nombre de cellules n'étant pas contraint à ces seules valeurs.

[0020] Les cellules photovoltaïques 16A, 16B, 16C sont sensiblement identiques et adjacentes selon la direction X. Les cellules adjacentes sont reliées par une connexion électrique 17A, 17B.

[0021] Une première cellule photovoltaïque 16A est adjacente selon X à un bord 15 du substrat 12. Une deuxième cellule photovoltaïque 16B est disposée entre la première 16A et une troisième 16C cellules photovoltaïques. Ladite deuxième cellule 16B est connectée électriquement à chacune desdites première 16A et troisième 16C cellules, respectivement par une première 17A et par une deuxième 17B connexions électriques.

[0022] Les première 16A et deuxième 16B cellules photovoltaïques seront décrites simultanément ci-après. La troisième cellule photovoltaïque 16C, partiellement représentée sur la figure 1, est considérée comme identique à la deuxième cellule photovoltaïque 16B.

[0023] Chaque cellule photovoltaïque 16A, 16B comporte une électrode inférieure 18A, 18B, au contact de la surface 14 du substrat 12. L'électrode inférieure 18A, 18B est formée d'une couche d'un premier matériau électriquement conducteur 19, transparent à la lumière visible. A titre indicatif, l'électrode inférieure 18A, 18B présente une largeur selon X comprise entre 10 mm et 20 mm.

[0024] Chaque électrode inférieure 18A, 18B est séparée de la ou des deux électrodes inférieures adjacentes par un sillon 20A, 20B s'étendant selon Y. Par exemple, les première 18A et deuxième 18B électrodes inférieures des première 16A et deuxième 16B cellules photovoltaïques sont séparées par le sillon 20A ; la deuxième électrode inférieure 18B est délimitée selon X par les sillons 20A et 20B.

[0025] Un fond du sillon 20A, 20B est formé par le substrat 12 électriquement isolant. Ainsi, chaque sillon 20A, 20B isole électriquement les électrodes inférieures situées de part et d'autre dudit sillon.

[0026] Les électrodes inférieures 18A, 18B ont une épaisseur selon Z préférentiellement inférieure à 1 μm . Plus préférentiellement, ladite épaisseur est comprise entre 50 et 500 nm.

[0027] Chaque cellule photovoltaïque 16A, 16B comporte en outre une première 22A, 22B et une deuxième 24A, 24B bandes électriquement isolantes, s'étendant selon Y. Chacune desdites bandes électriquement isolantes forme un relief selon Z par rapport aux électrodes inférieures 18A, 18B.

[0028] Chaque première bande électriquement isolante 22A, 22B s'étend dans un sillon 20A, 20B et par-dessus ledit sillon. Chaque deuxième bande électriquement isolante 24A, 24B s'étend à distance des sillons 20A, 20B. Ainsi, chaque deuxième bande électriquement isolante 24A, 24B sépare l'électrode inférieure 18A, 18B correspondante en deux zones 26A, 26B et 28A, 28B, adjacentes selon X.

[0029] Une première zone 26A, 26B est dite « zone active » et une deuxième zone 28A, 28B est dite « zone inactive ». Sur la figure 1, chacune des zones actives 26A et 26B, respectivement des première 16A et deuxième 16B cellules photovoltaïques, est respectivement comprise entre la première bande 22A et la deuxième bande 24A, et entre la première bande 22B et la deuxième bande 24B.

[0030] La zone inactive 28B (figure 5) de la deuxième cellule photovoltaïque 16B est comprise entre la première bande 22A, séparant les première 16A et deuxième 16B cellules photovoltaïques, et la deuxième bande 24B. La zone inactive 28A de la première cellule photovoltaïque 16A est comprise entre le bord 15 du substrat 12 et la deuxième bande 24A.

[0031] Une largeur 30 selon X de la zone active 26A, 26B (figure 5) est supérieure à une largeur 32 selon X de la zone inactive 28A, 28B. De préférence, la largeur 32 de la zone inactive 28B de la deuxième cellule photovoltaïque 16B est comprise entre 0,1 mm et 2,0 mm, plus préférentiellement comprise entre 0,5 mm et 1,5 mm. De préférence, les largeurs 30 des zones actives 26A et 26B des cellules photovoltaïques 16B et 16B sont comprises entre 10 mm et 15 mm, plus préférentiellement comprises entre 11 mm et 14 mm.

[0032] A titre indicatif, une largeur 33 (figure 2) selon X de chaque bande électriquement isolante 22A, 22B, 24A, 24B est comprise entre 0,2 mm et 1 mm.

[0033] Au niveau de la zone active 26A, 26B, chaque cellule photovoltaïque 16A, 16B comporte un empilement 34 de couches de matériaux. L'empilement 34, ou zone active, comprend au moins une électrode supérieure 36 et une couche photo-active 38.

[0034] L'électrode supérieure 36 est formée d'une couche d'un deuxième matériau électriquement conducteur 40, notamment métallique, préférentiellement transparent à la lumière visible. Il s'agit par exemple d'une encre à base de nanoparticules d'argent ou de nanofils d'argent.

[0035] La couche photo-active 38, disposée entre les électrodes inférieure 18A, 18B et supérieure 36, est constituée d'un matériau photo-actif 42. Le matériau photo-actif 42 est de nature semi-conducteur. Il s'agit de préférence d'un semi-conducteur organique. Avantageusement, le matériau photo-actif 42 est constitué d'un mélange d'un matériau donneur d'électrons, dit matériau de type p, et d'un matériau accepteur d'électrons, dit matériau de type n. Le matériau photo-actif 42 est par exemple un mélange intime, à l'échelle nanométrique, desdits matériaux de type p et n. Alternativement, la couche photo-active 38 peut être une hétérojonction d'un matériau de type p et d'un matériau de type n, sous la forme d'une couche ou d'un empilement de plusieurs couches.

[0036] Dans le mode de réalisation de la figure 1, la zone active 34 comporte en outre une première 44 et une deuxième 46 couches d'interface, ayant un rôle de transport d'électrons ou de trous entre les électrodes 18A, 18B, 36 et la couche photo-active 38. Chaque couche d'interface 44, 46 est disposée entre ladite couche photo-active 38 et l'une des électrodes inférieure 18A, 18B ou supérieure 36.

[0037] Chacune des différentes couches de la zone active 34 a préférentiellement une épaisseur selon Z inférieure à 5 μm , plus préférentiellement inférieure à 1 μm .

[0038] On considère le facteur de remplissage géométrique, ou GFF (*Geometric Fill-Factor*) du module photovoltaïque 10. Le GFF est défini comme un ratio entre la somme des aires des zones actives 34 des cellules photovoltaïques 16A, 16B, 16C et une aire totale du substrat 12. Plus le GFF est élevé, plus le module photovoltaïque 10 est électriquement

performant.

[0039] L'obtention d'un GFF élevé impose notamment de maîtriser la géométrie des connexions électriques 17A, 17B, comme décrit ci-après.

[0040] La première connexion électrique 17A relie l'électrode supérieure 36 de la première cellule photovoltaïque 16A et la deuxième électrode inférieure 18B. Une vue de détail du module photovoltaïque 10, au niveau de ladite première connexion électrique 17A, est représentée sur la figure 2.

[0041] La première connexion électrique 17A est formée par une couche d'un troisième matériau électriquement conducteur 52. Ladite couche est disposée par-dessus la première bande électriquement isolante 22A et relie électriquement l'électrode supérieure 36 de la première cellule photovoltaïque 16A et la zone inactive 28B de la deuxième électrode inférieure 18B.

[0042] De préférence, une épaisseur 54 de ladite couche du matériau 52 est sensiblement homogène le long du dénivelé formé par la première bande électriquement isolante 22A. En effet, une épaisseur trop variable peut induire l'interruption de la connectivité électrique entre deux cellules voisines.

[0043] De préférence, ladite épaisseur 54 est inférieure à 5 μm , plus préférentiellement inférieure à 1 μm et encore plus préférentiellement inférieure à 600 nm.

[0044] De préférence, le troisième matériau électriquement conducteur 52 est sensiblement identique au deuxième matériau électriquement conducteur 40.

[0045] La deuxième connexion électrique 17B est disposée de manière analogue à la première connexion électrique 17A, entre les deuxième 16B et troisième 16C cellules photovoltaïques.

[0046] Un procédé de fabrication du module photovoltaïque 10 ci-dessus va maintenant être décrit, sur la base des figures 3 à 6 :

Tout d'abord (figure 3) est fourni le substrat 12 recouvert d'une couche du premier matériau électriquement conducteur 19. Ledit matériau 19 est par exemple déposé sur la surface 14 du substrat 12 par enduction de type pleine surface.

[0047] Les sillons 20A, 20B sont ensuite formés sur ladite couche de matériau 19 (figure 4), notamment par gravure mécanique ou laser. Lesdits sillons définissent les électrodes inférieures 18A, 18B électriquement isolées les unes des autres.

[0048] Les premières 22A, 22B et les deuxième 24A, 24B bandes électriquement isolantes sont ensuite formées (figure 5) sur lesdites électrodes inférieures 18A, 18B, définissant les zones actives 26A, 26B et les zones inactives 28A, 28B. Comme il sera décrit ultérieurement, les bandes électriquement isolantes sont formées par dépôt d'une formulation liquide de matériau isolant, suivi d'un passage à l'état solide de ladite formulation.

[0049] Chacune des premières 22A, 22B bandes électriquement isolantes permet d'achever l'isolation électrique entre les cellules photovoltaïques adjacentes. En effet, la formation d'une bande électriquement isolante dans un sillon 20A, 20B permet de minimiser les courts-circuits éventuels entre les électrodes inférieures 18A, 18B voisines. De tels courts-circuits sont notamment induits par des débris générés lors de la formation du sillon par gravure.

[0050] Un empilement 34 de couches de matériaux est ensuite réalisé (figure 6) au niveau de la zone active 26A, 26B de chaque électrode inférieure 18A, 18B. Chaque couche peut être formée grâce à une large gamme de techniques. Les méthodes de fabrication compatibles avec la production à grande échelle sont de préférence des procédés continus tels que les procédés au déroulé ou roll-to-roll.

[0051] Les procédés au déroulé par voie humide, c'est-à-dire de dépôt à l'état liquide, sont divisés en différentes catégories : les méthodes d'impression permettent de créer des motifs à haute résolution ; les méthodes d'enduction comprennent un dépôt de matière en pleine laize ou pleine surface, sans motif.

[0052] Les méthodes d'impression comprennent notamment la flexographie, l'héliographie, l'héliogravure, l'impression offset, la sérigraphie et l'impression jet d'encre. Les méthodes d'enduction comprennent notamment l'enduction à filière plate communément appelée slot-die, l'enduction à rideau communément appelée curtain coating, et l'enduction à la racle communément appelée knife coating.

[0053] Chacune des différentes couches 36, 38, 44, 46 des empilements 34 est de préférence formée par une technique d'enduction ou d'impression au déroulé par voie humide, notamment choisie parmi le slot-die, l'héliogravure, la sérigraphie et la flexographie.

[0054] Les bandes électriquement isolantes forment une frontière physique entre les zones active et inactive de chaque électrode inférieure. Cette frontière facilite la formation des empilements 34 par couches successives, en contrôlant la définition des bords desdites couches. En particulier, la présence des bandes électriquement isolantes permet d'éviter le décalage latéral des couches, en marches d'escalier, tel que décrit dans le document US7932124.

[0055] Dans le cas d'impression ou d'enduction par des machines comportant des rouleaux d'entraînement, comme pour la flexographie, l'héliographie, l'héliogravure, la sérigraphie et le slot-die, les bandes électriquement isolantes forment aussi une protection physique selon l'axe Z de la surface enduite. Une telle protection permet de limiter la

formation de défauts sur les différentes couches enduites, par le contact entre les rouleaux d'entraînement et le substrat à enduire.

[0056] Les différentes cellules photovoltaïques 16A, 16B, 16C sont ainsi obtenues. Lesdites cellules photovoltaïques sont électriquement isolées les unes des autres, comme visible sur la figure 6.

[0057] Une dernière étape du procédé de fabrication comprend la formation des connexions électriques 17A, 17B, en déposant une couche du troisième matériau électriquement conducteur 52 par-dessus les premières bandes électriquement isolantes 22A, 22 B.

[0058] Le module photovoltaïque 10 de la figure 1 est ainsi obtenu.

[0059] De préférence, la formation des connexions électriques 17A, 17B et le dépôt de la couche 36 sont réalisés simultanément. Dans ce cas, le troisième matériau électriquement conducteur 52 est identique au deuxième matériau électriquement conducteur 40. Préférentiellement, une épaisseur 54 dudit troisième matériau est alors sensiblement identique à l'épaisseur de la couche 36.

[0060] Le troisième matériau électriquement conducteur 52 est de préférence obtenu par une technique d'enduction ou d'impression au déroulé par voie humide, c'est-à-dire par le dépôt d'une formulation liquide, suivi d'un passage à l'état solide de ladite formulation. Lors de cette étape, il est souhaitable d'obtenir une épaisseur 54 la plus faible possible, notamment de l'ordre de 1 μm , pour minimiser le contact humide de ladite formulation avec la couche précédemment déposée. En effet, un tel contact peut conduire à la re-dissolution des couches inférieures et la diffusion des solvants et des matériaux au travers des couches inférieures. Il en résulte des résistances parasites et des courts-circuits électriques.

[0061] De plus, une épaisseur 54 faible permet de limiter les effets de bord avec les première 22A et deuxième 24B bandes électriquement isolantes, lors de l'enduction par voie humide de la connexion électrique 17A. On peut ainsi minimiser la largeur 32 des zones inactives 28B des cellules photovoltaïques, ce qui conduit à une optimisation du GFF.

[0062] Par ailleurs, comme indiqué précédemment, il est souhaitable d'obtenir une épaisseur 54 homogène au niveau du dénivelé généré par la bande isolante afin d'assurer la continuité de la conductivité électrique. Or, les procédés de dépôt au déroulé classiques tels que le slot-die, l'héliogravure ou la flexographie, sont souvent inadaptés à l'obtention d'une épaisseur homogène sur des surfaces non planes telles que les bandes isolantes.

[0063] Des procédés de revêtement en phase gazeuse, tels que les procédés chimiques ou physiques de dépôt par évaporation, sont connus pour permettre l'obtention d'une couche d'épaisseur homogène sur des surfaces non planes. De tels procédés sont cependant peu compatibles avec la production industrielle de modules photovoltaïques de grandes surfaces, notamment car ils génèrent beaucoup de perte de matière.

[0064] Des méthodes de sérigraphie, qui permettent d'enduire des encres à base de particules métalliques d'argent, sont également connues. Cependant, l'homogénéité est établie par des épaisseurs enduites généralement supérieures à 5 μm , ce qui est trop élevé par rapport aux épaisseurs 54 visées.

[0065] Selon un mode préférentiel de réalisation de l'invention, le procédé de formation de la couche du troisième matériau électriquement conducteur 52 permet de contrôler la valeur et l'homogénéité de l'épaisseur 54. Ledit procédé implique la maîtrise des tensions superficielles des différentes formulations déposées à l'état liquide.

[0066] La tension superficielle est définie comme l'énergie nécessaire pour modifier la forme d'une interface établie entre les molécules d'un premier liquide et celles d'un deuxième liquide ou d'une substance gazeuse insoluble dans le premier liquide. La tension superficielle se mesure en newtons par mètre (N.m^{-1}). La tension superficielle d'un liquide sur un support solide, ou tension de surface, peut être mesurée grâce à un tensiomètre ou goniomètre. La tension est déterminée à l'aide d'une sonde idéale, permettant un mouillage parfait quels que soient les liquides étudiés, ladite sonde étant suspendue à une balance de précision.

[0067] L'absence de mobilité des molécules d'un solide ne permet pas, comme pour un liquide, la détermination directe de sa tension de surface. La tension superficielle d'un solide, ou énergie de surface, peut être mesurée indirectement par la mesure des angles de contact avec différents liquides de référence. Les angles de contact permettent de modéliser l'angle que forme, avec une surface donnée, une goutte de trois liquides purs standards possédant une partie dispersive et une partie polaire. Les liquides de référence utilisables sont notamment le thiodiglycol, l'éthylène glycol et le diiodométhane.

[0068] Selon le mode préférentiel de réalisation du procédé décrit précédemment, la première bande isolante 22A est réalisée par enduction d'une première formulation liquide de matériaux isolants sur les électrodes inférieures 18A, 18B et le sillon 20A, suivie d'un séchage. Ladite première formulation comprend par exemple des polymères préparés à partir de matériaux tels que des amines, des acrylates, des époxydes, des uréthanes, des phénoxys ou des combinaisons de ceux-ci. Ces matériaux isolants sont déposés en solution, ou encore sans solvant lorsqu'ils sont à l'état liquide à température ambiante.

[0069] La couche du premier matériau électriquement conducteur 19 recouvrant le substrat 12 présente une première énergie de surface γ_{S1} . Le dépôt de la première formulation liquide crée une première interface 60 (figure 2) avec ledit premier matériau 19. Ladite première interface présente une première tension de surface T_{S1} , inférieure à la première énergie de surface γ_{S1} . De préférence, une différence entre ladite première tension de surface T_{S1} et ladite première

énergie de surface γ_{S1} est comprise entre 0,015 N.m⁻¹ et 0,025 N.m⁻¹.

[0070] La première formulation est alors solidifiée par séchage thermique pour former la première bande isolante 22A. A l'état solide, ladite première bande présente une deuxième énergie de surface γ_{S2} .

[0071] Après réalisation de l'empilement ou zone active 34, le troisième matériau électriquement conducteur 52 est déposé sous forme d'une deuxième formulation liquide. Ladite deuxième formulation liquide comporte au moins un matériau conducteur, qui peut être choisi parmi : les métaux et alliages électriquement conducteurs, notamment l'or, l'argent, le cuivre, l'aluminium, le nickel, le palladium, le platine et le titane ; les polymères conducteurs tels que les polythiophènes, les polyanilines, les polypyrroles ; et les oxydes métalliques tels que l'oxyde d'indium et d'étain, l'oxyde d'étain fluoré, l'oxyde d'étain et l'oxyde de zinc.

[0072] Le dépôt de la deuxième formulation liquide crée une deuxième interface 62 avec la première bande isolante 22A. Une deuxième tension de surface T_{S2} de ladite deuxième interface est inférieure à la deuxième énergie de surface γ_{S2} . De préférence, une différence entre ladite deuxième énergie de surface γ_{S2} et ladite deuxième tension de surface T_{S2} est supérieure à 0,015 N.m⁻¹.

[0073] La deuxième formulation est alors solidifiée par séchage thermique pour former la première connexion électrique 17A, sous forme d'une couche de matériau 52.

[0074] Le maintien des énergies de surface γ_{S1} , γ_{S2} et des tensions de surface T_{S1} , T_{S2} dans les plages décrites ci-dessus peut être obtenu en incorporant au moins un additif de type tensio-actif dans la première formulation liquide de matériaux isolants. Le choix du tensio-actif est déterminé par sa capacité à réduire la tension de surface T_{S1} de la première formulation liquide sans diminuer l'énergie de surface γ_{S2} de la bande solide formée après séchage.

[0075] L'additif de type tensio-actif est de préférence un agent tensio-actif fluoré et plus préférentiellement un agent tensio-actif fluoré non ionique éthoxylé.

[0076] Le maintien des énergies de surface γ_{S1} , γ_{S2} et des tensions de surface T_{S1} , T_{S2} dans les plages décrites ci-dessus permet d'obtenir une épaisseur 54 sensiblement homogène et inférieure ou égale à 1 μ m. Le mode préférentiel de réalisation décrit ci-dessus permet notamment de minimiser la largeur 32 des zones inactives 28B des cellules photovoltaïques. Un GFF supérieur à 80%, voire supérieur à 85%, peut notamment être obtenu pour le module photovoltaïque 10.

[0077] Les exemples suivants illustrent l'invention sans en limiter la portée :

Exemple 1 : formation de la première bande isolante 22A

[0078] Le substrat 12 est un film plastique de polyéthylène téréphtalate. Les électrodes inférieures 18A, 18B sont formées par dépôt sur ledit substrat d'une fine couche d'oxyde d'indium dopé à l'étain (ITO) en tant que premier matériau électriquement conducteur 19, puis par gravure des sillons 20A, 20B.

[0079] La première énergie de surface γ_{S1} des électrodes inférieures 18A, 18B est mesurée grâce à un goniomètre, les 3 liquides de référence étant le diiodométhane, l'éthylène glycol et le thiodiglycol. La première énergie de surface γ_{S1} ainsi mesurée est comprise entre 38 et 45 mN/m.

[0080] En parallèle, la première formulation liquide est préparée pour la réalisation de la première bande isolante 22A. Plusieurs exemples de formulations E, F, G et H sont présentées dans le tableau 1 ci-dessous :

Tableau 1

	Formulation E		Formulation F		Formulation G		Formulation H	
Composé	Masse [g]	%	Masse [g]	%	Masse [g]	%	Masse [g]	%
résine phénoxy	2,379	23,79	2,378	23,78	2,378	23,78	2,373	23,73
réticulant isocyanate	0,097	0,97	0,097	0,97	0,097	0,97	0,097	0,97
butan-2-one	7,519	75,19	7,515	75,15	7,515	75,15	7,500	75,00
tensio-actif A	0,005	0,05	0,010	0,10	-	-	-	-
tensio-actif B	-	-	-	-	0,010	0,10	0,030	0,30

[0081] Les formulations E, F, G et H sont préparées comme suit : Pesée du PKHP-80 et du tensio-actif ; ajout du solvant ; homogénéisation durant 1 nuit sur un agitateur à rouleaux ; ajout du BI7963 ; homogénéisation durant 1 heure sur l'agitateur à rouleaux.

[0082] Une première bande isolante 22A est ensuite formée par enduction de chacune des formulations E, F, G et H sur des électrodes inférieures 18A, 18B telles que décrites ci-dessus. Les enductions sont réalisées avec un applicateur automatique (AAF) de la société Erichsen selon les paramètres suivants : vitesse : 10 mm/s ; fente : 50 μ m ; volume : 600 μ L.

EP 3 336 904 A1

[0083] On mesure la première tension de surface T_{S1} des formulations sur les électrodes inférieures, grâce à un tensiomètre Krüss K100. Les mesures de T_{S1} pour les différentes formulations sont présentées dans le tableau 2.

Tableau 2

T_{S1} (mN/m)		Valeur de γ_{S1} - 25 mN/m	Valeur de γ_{S1} - 15 mN/m
Formulation E	17,1	Entre 13 et 20	Entre 23 et 30
Formulation F	15,3		
Formulation G	7,5		
Formulation H	12,8		

[0084] Un séchage de 2 minutes à 120 °C en étuve est ensuite effectué. Des bandes isolantes solides dénommées E, F, G et H sont ainsi obtenues.

[0085] La deuxième énergie de surface γ_{S2} des bandes isolantes E, F, G et H est ensuite mesurée par le goniomètre, selon la méthode décrite ci-dessus pour la première énergie de surface. Les différentes énergies de surface ainsi mesurées sont présentées dans le tableau 3 de l'exemple 2 ci-après.

Exemple 2 : formation de la première connexion électrique 17A

[0086] Une deuxième formulation liquide est obtenue pour la réalisation de la première connexion électrique 17A. La deuxième formulation liquide comprend un matériau conducteur de type encre à base d'argent.

[0087] Une couche de deuxième formulation liquide est ensuite enduite sur chacune des bandes isolantes E, F, G et H. On réalise une enduction de la deuxième formulation liquide avec l'applicateur automatique de film (AAF) de chez Erichsen. Le volume déposé et les fentes varient en fonction des essais (fentes testées 12,5 μm et 50 μm).

[0088] On mesure la deuxième tension de surface T_{S2} de la deuxième formulation liquide sur chacune des bandes isolantes E, F, G et H, grâce à un tensiomètre Krüss K100. Dans tous les cas, la deuxième tension de surface T_{S2} est comprise entre 21,5 et 21,9 mN/m.

[0089] Les mesures de γ_{S2} pour les différentes bandes isolantes sont présentées dans le tableau 3 :

Tableau 3

	γ_{S2} (mN/m)	Valeur de T_{S2} + 15 mN/m
bande isolante E	39,64	36,5
bande isolante F	40,18	
bande isolante G	28,39	
bande isolante H	18,46	

Conclusion

[0090] Les premières tensions de surface T_{S1} des formulations G et H ne sont pas comprises entre les valeurs (γ_{S1} - 25 mN/m) et (γ_{S1} - 15 mN/m). De même, les deuxièmes énergies de surface γ_{S2} des bandes isolantes G et H sont inférieures à la valeur (T_{S2} + 15 mN/m).

[0091] Les formulations G et H et les bandes isolantes issues de ces formulations présentent respectivement des tensions de surface et des énergies de surface trop faibles. La formation de la connexion électrique 17A sur une bande isolante 22A issue des formulations G et H conduit à une mauvaise homogénéité de la couche de matériau conducteur 52, ce qui peut provoquer une rupture de la connexion électrique entre les cellules photovoltaïques 16A et 16B.

[0092] Expérimentalement, la résistance électrique mesurée sur les électrodes 36, 18B, de part et d'autre de la bande isolante 22A recouverte par la connexion électrique 17A, est supérieure à 100 Ω . Cette résistance entraîne une perte de la connexion électrique entre les deux cellules 16A et 16B. Le module photovoltaïque 10 ainsi obtenu n'est donc pas fonctionnel.

[0093] Au contraire, les formulations E et F et les bandes isolantes issues de ces formulations présentent respectivement des tensions de surface et des énergies de surface dans la gamme souhaitée. La formation de la connexion électrique 17A sur une bande isolante 22A issue des formulations E et F conduit à une couche homogène de matériau conducteur 52, donc à une bonne connexion électrique entre les cellules photovoltaïques 16A et 16B. Le module

photovoltaïque 10 ainsi obtenu est fonctionnel.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'un module photovoltaïque (10), comprenant au moins deux cellules photovoltaïques (16A, 16B) connectées électriquement, le procédé comprenant les étapes suivantes :

- a) fourniture d'un substrat (12) électriquement isolant recouvert d'une couche d'un premier matériau électriquement conducteur (19) ; puis
- b) formation, sur ladite couche, d'au moins un sillon (20A) définissant une première (18A) et une deuxième (18B) électrodes inférieures, électriquement isolées l'une de l'autre par ledit sillon ; puis
- c) formation, sur chacune desdites électrodes inférieures, d'un empilement (34) comprenant au moins : une électrode supérieure (36) formée d'une couche d'un deuxième matériau électriquement conducteur (40) ; et une couche (38) d'un matériau photo-actif disposée entre les électrodes inférieure et supérieure,

chacune des première et deuxième électrodes inférieures formant respectivement une première (16A) et une deuxième (16B) cellules photovoltaïques avec l'empilement correspondant,

- d) formation d'une connexion électrique (17A) entre l'électrode supérieure de la première cellule photovoltaïque et la deuxième électrode inférieure ;

le procédé étant **caractérisé en ce qu'il** comprend les étapes suivantes, entre les étapes b) et c) :

- e) formation d'une première bande électriquement isolante (22A) dans le sillon (20A) et par-dessus ledit sillon, ladite bande formant un relief par rapport aux première et deuxième électrodes inférieures ; et
- f) formation d'une deuxième bande électriquement isolante (24B) sur la deuxième électrode inférieure, lesdites première et deuxième bandes électriquement isolantes étant sensiblement parallèles et délimitant une zone inactive (28B) sur ladite deuxième électrode inférieure ;

et **en ce que** l'empilement formé à l'étape c) sur la deuxième cellule photovoltaïque est disposé en dehors de ladite zone inactive.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel une largeur (32) de la zone inactive (28B) est comprise entre 0,1 mm et 2 mm.

3. Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, dans lequel :

- au moins la première bande électriquement isolante (22A, 22B) est formée par dépôt, sur le sillon (20A, 20B) et sur le premier matériau électriquement conducteur, d'une première formulation liquide de matériau isolant, suivi d'un passage à l'état solide de ladite première formulation ;
- la couche du premier matériau électriquement conducteur (19) recouvrant le substrat (12) présente une première énergie de surface (γ_{S1}) ;
- le dépôt de la première formulation liquide crée une première interface (60) avec ledit premier matériau électriquement conducteur, la première tension de surface (T_{S1}) de ladite première interface étant inférieure à ladite première énergie de surface (γ_{S1}) ;

une différence entre ladite première énergie de surface et ladite première tension de surface étant préférentiellement comprise entre 0,015 N.m⁻¹ et 0,025 N.m⁻¹.

4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'étape d) comprend le dépôt d'une couche d'un troisième matériau électriquement conducteur (52) entre l'électrode supérieure (36) de la première cellule photovoltaïque (16A, 16B) et la deuxième électrode inférieure de la deuxième cellule photovoltaïque (16B, 16C), par-dessus la première bande électriquement isolante (22A, 22B).

5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel :

- la première bande électriquement isolante (22A, 22B) présente une deuxième énergie de surface (γ_{S2}) ;

- la couche de troisième matériau électriquement conducteur est formée par dépôt d'une deuxième formulation liquide, créant une deuxième interface (62) avec ladite première bande électriquement isolante, une deuxième tension de surface (T_{S2}) de ladite deuxième interface étant inférieure à ladite deuxième énergie de surface (γ_{S2}) ;

- 5 une différence entre ladite deuxième énergie de surface et ladite deuxième tension de surface étant préférentiellement supérieure à 0,015 N.m⁻¹.
6. Procédé selon l'une des revendications 3 à 5, dans lequel la première formulation liquide de matériau isolant comprend au moins un polymère et au moins un tensio-actif,
10 l'au moins un polymère étant préférentiellement préparé à base de composés choisis parmi les amines, les acrylates, les époxydes, les uréthanes et leurs mélanges, et l'au moins un tensio-actif étant préférentiellement un composé fluoré.
7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel au moins l'une des couches (36, 38) de deuxième matériau électriquement conducteur et de matériau photo-actif est formée par une technique d'enduction ou d'impression au déroulé par voie humide, préférentiellement choisie parmi le slot-die, l'héliogravure et la flexographie.
8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'étape d) est réalisée simultanément au dépôt de la couche du deuxième matériau électriquement conducteur (36) de l'étape c), le troisième matériau électriquement conducteur (52) étant identique audit deuxième matériau électriquement conducteur (40).
20
9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'électrode supérieure (36) et la connexion électrique (17A, 17B) sont formées d'un matériau électriquement conducteur (40) transparent à la lumière visible.
- 25 10. Procédé selon l'une des revendications 4 à 9, dans lequel une épaisseur (54) de la couche de troisième matériau électriquement conducteur est inférieure à 1 μ m et préférentiellement inférieure à 600 nm.
11. Module photovoltaïque (10) issu d'un procédé selon l'une des revendications 1 à 10.
- 30 12. Module photovoltaïque selon la revendication 11, dans lequel un ratio entre la somme d'aires des empilements (34) comprenant une couche de matériau photo-actif et une aire totale du substrat (12) est supérieur à 80% et préférentiellement supérieur à 85%.

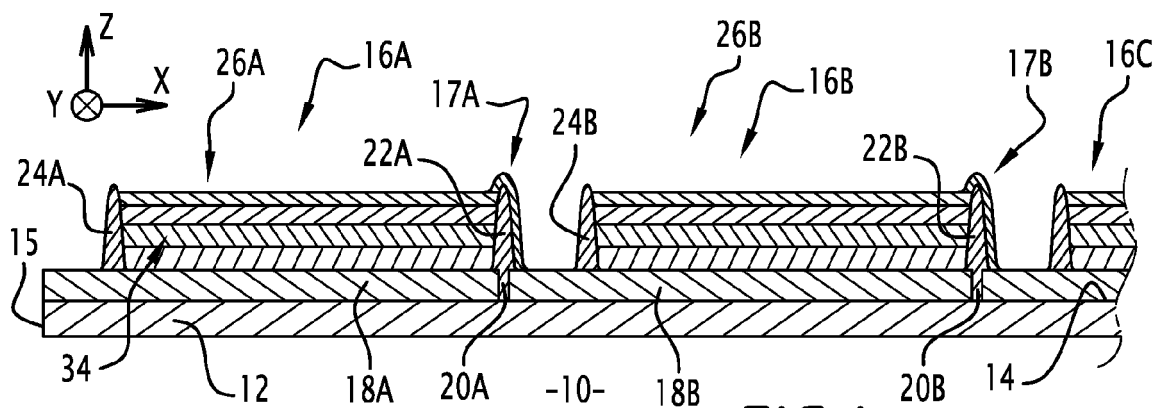


FIG. 1

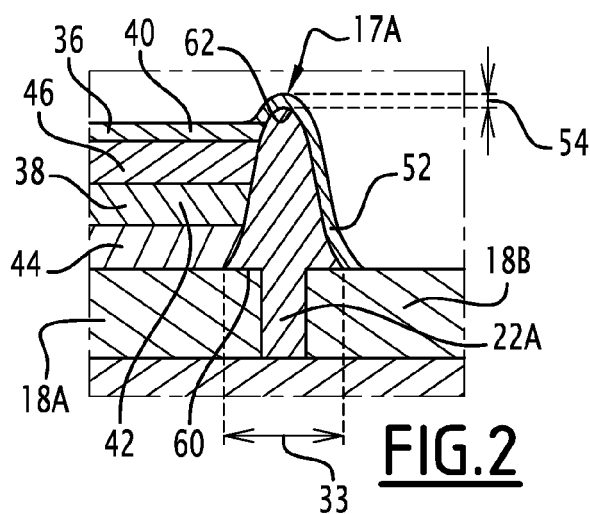


FIG. 2

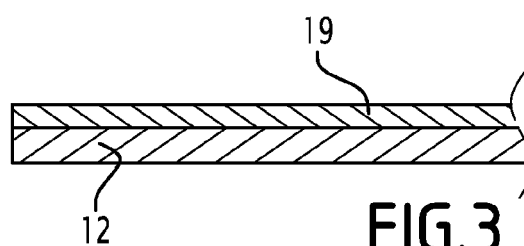


FIG. 3

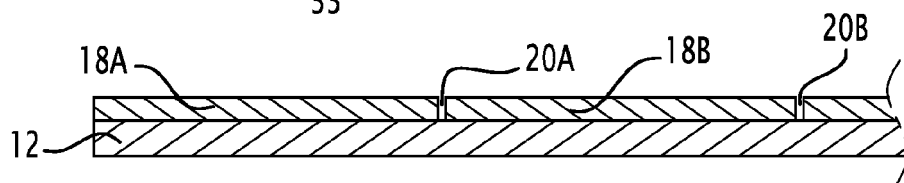


FIG. 4

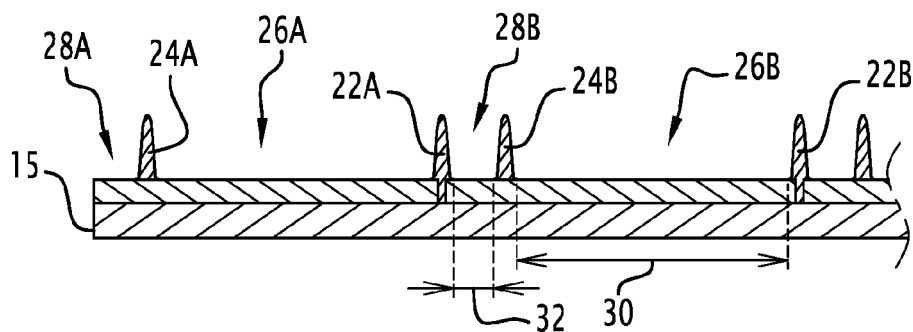


FIG. 5

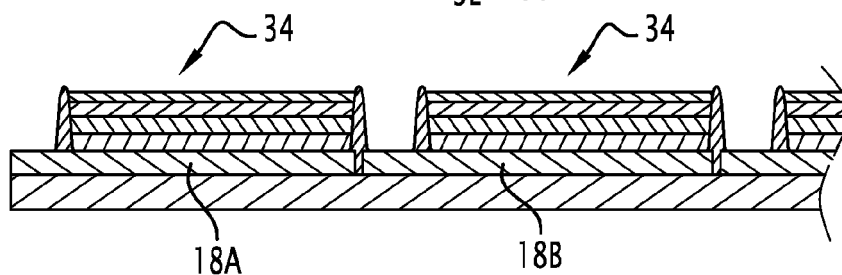


FIG. 6



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 17 20 7694

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	US 2012/276681 A1 (OTTE KARSTEN [DE] ET AL) 1 novembre 2012 (2012-11-01) * abrégé; figures 3a, 10i * * alinéas [0001], [0014], [0021] - [0022], [0026], [0043] - [0044], [0050], [0062] - [0067] * -----	1-12	INV. H01L31/05 H01L31/0465
X	WO 2013/108623 A1 (FUJIFILM CORP [JP]) 25 juillet 2013 (2013-07-25) * abrégé; figures 4a-4c, 9-10 * * alinéas [0031] - [0047], [0067] - [0077] * -----	1-12	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			H01L
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Berlin		Date d'achèvement de la recherche 27 mars 2018	Examineur Cichos, Anna
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 17 20 7694

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

27-03-2018

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2012276681 A1	01-11-2012	BR 112012006222 A2	31-05-2016
		CN 102598268 A	18-07-2012
		DE 102009041905 A1	28-04-2011
		EP 2478559 A2	25-07-2012
		US 2012276681 A1	01-11-2012
		WO 2011032717 A2	24-03-2011

		WO 2013108623 A1	25-07-2013
		JP 2013149697 A	01-08-2013
		TW 201340364 A	01-10-2013
WO 2013108623 A1	25-07-2013		

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- US 7932124 B [0003] [0007] [0054]